韓國精密工學會 2001年度 春季學術大會論文集 pp.895~898 KSPE 01S197

고속 볼 엔드밀 가공에서 절삭속도 최적화

김경균*(부산대 대학원), 강명창, 정윤호, 이득우, 김정석(부산대 ERC/NSDM)

Optimization cutting speed in high speed ball end milling

K. K. Kim(Graduate School, Pusan National)
M. C. Kang, Y. H. Jung, D. W. Lee, J. S. Kim(ERC/NSDM, Pusan National Univ.)

ABSTRACT

This paper presents an optimization cutting speed(OCS) program developed to improve the machining precision and tool life in high speed machining using ball end milling. This program optimizes the cutting speed that is changing at any time in free surface machining of an automobile part like a connecting load die. The technique of optimization cutting speed makes the CAD/CAM-generated NC code go through a reverse post process, conducts cutting simulation, and obtain the effective tool diameter of the ball end milling. Then it changes the spindle revolution to within the range of critical cutting speed fit for the materials of the workpieces depending upon the effective tool diameter. In this study, the machining precision and tool life were compared for the two connecting *load dies processed using the general cutting method and the proposed optimization* cutting speed technique. respectively.

Key Words : Optimization cutting speed(절삭속도 최적화), High speed ball end milling(고속 볼 엔드밀링), Tool life(공구 수명), The effective tool diameter(유효 공구직경), Reverse post process(역 후처리과정)

1. 서론

고속 가공 기술은 1921년 독일의 Carl J. Salomon에 의해 착안된 이래로 현재까지 많은 기술적인 발전을 하게 되었다. 하지만, 절삭속도가 임계 절삭속도 이상으로 증가될 때 절삭온도가 감소한다는 Salomon의 이론은 오늘날 수많은 연구자들에 의해 신빙성이 없는 것으로 판명되고 있다. 즉, 절삭속도가 증가함에 따라서 절삭온도는 고온으로 상승하여 공구수명이 저하되는 것으로 보고되고 있다.[1~3]

그러나 절삭온도의 고온화 및 공구수명 단축에도 불구하고 고속가공에 관심을 가지는 것은 절삭속도 증가에 의한 생산성 및 가공정밀도 향상의 효과를 얻고자 하기 때문이다[4~7]. 이러한 이유로 고속가공에 대한 정의는 부품의 정밀도나 질을 떨어뜨리지 않는 가운데서 높은 제료 제거율을 가지는 절삭속도와 이송속도로 가공하는 것으로 하기도 한다. 그리고 고속가공의 기준을 절삭속도 측면에서는 열처리강의 경우 150~250m/min, 일반강의 경우 350~400 m/min , 비철금속의 경우 1000m/min 이다. 또한 주축회전속도 측면에서는 대략 15,000~20,000rpm 이상으로 간주한다.

절삭속도는 공구에 산화 및 확산 마멸을 발생시켜 공구수명에 영향을 주는 아주 주요한 인자중의 하나이다. 그러므로 열처리 강의 경우 임계 절삭속도 150~250m/min의 범위를 벗어나는 경우에는 공구마멸이 급격히 진전된다. 그리고 공작물과 절삭속도는 서로 상대적인 관계에 있으므로 공작물 재종에 따른 적절한 임계 절삭속도 선정이 무엇보다 중요하다. 본 논문에서는 자동차 부품인 커넥팅 로드 금형을 절삭속도 일정제어 기법을 이용하여 고속가공을 실현하고자 한다. 커넥팅 로드는 자유곡면으로 이루어진 형상으로써 황삭 및 정삭 가공을 볼 엔드밀 공구로만 한다. 자유곡면가공시 볼 엔드밀은 공구의 기하학적 형상특성으로 인하여 동일한 주축회전수에서도 절삭속도가 변화된다. 이러한 절삭속도 변화는 공구의 수명단축 및 제품의 가공정밀도에 영향을 미

치므로 현재 많은 사람들이 볼 엔드밀 공구의 형상 변화와 이송속도 제어 등 연구를 활발히 하고 있다[7~8]. 하지만, 자유곡면 가공에서 절삭속도 일정제어 기법에 관한 연구는 아직 미진한 실정이다. 따라서 개발된 절삭속도 일정제어 프로그램으로 커넥팅 로드 금형을 가공하여 공구수명 및 가공정밀도 향상 등 임계 절삭속도 일정제어 기법의 효율성을 제시하고자 한다.

2. 절삭속도 일정제어 기법

2.1 프로그램 알고리즘

볼 엔드밀 공구로 Fig. 1과 같은 공작물을 가공할 때에 공구의 실제유효직경에 따라 동일한 주축회전수에서도 절삭속도가 변화하게 된다. 절삭속도가 변화하면 공구와 공작물의 상대운동 차이에 의해 공구수명 및 가공정밀도가 저하된다. 볼 엔드밀 가공에서 공구와 공작물 기울기 변화에 따른 실제 유효 공구직경을 구하는 방법을 Fig. 2에 나타내었다.

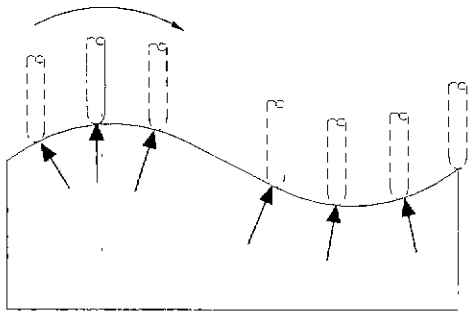


Fig. 1 Variation effective tool diameter of ball end mill in free surface machining

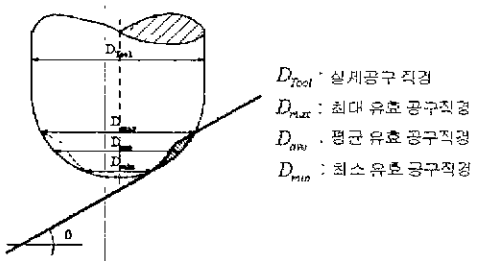


Fig. 2 The effective tool diameter calculation

$$V_{ave} = \frac{\pi \cdot D_{ave} \cdot N}{1000} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

Fig. 2에서 식 (1)처럼 절삭속도를 계산할 때 공구직경은 평균 유효 공구직경을 사용하였다. 평균 유효 공구직경은 최대 및 최소 유효 공구직경보다 절삭할 때 오차율이 적기 때문이다. 그리고 임계 절삭속도 일정제어 기법의 순서도를 Fig. 3에 나타내었다. 기존의 CAD/CAM에서 생성된 NC 코드를 역 후처리(Reverse Post Process) 과정을 통하여 가공영역을 선정한 뒤 Z-map 데이터를 이용하여 절삭 시뮬레이션을 실시한다. 절삭 시뮬레이션을 통하여 공구의 절삭영역을 구한 뒤 실제 유효 공구직경을 계산한다. 그리고 실제 유효 공구직경에 따라 주축회전수를 가변 시키는 NC 코드로 수정한다. 커넥팅 로드 금형의 NC 코드를 개발한 프로그램으로 실행 시켰을 때의 모습을 Fig. 4에 나타내었다

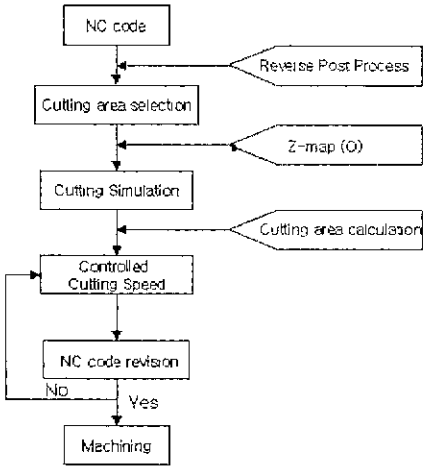


Fig. 3 Flow chart of optimization cutting speed programing

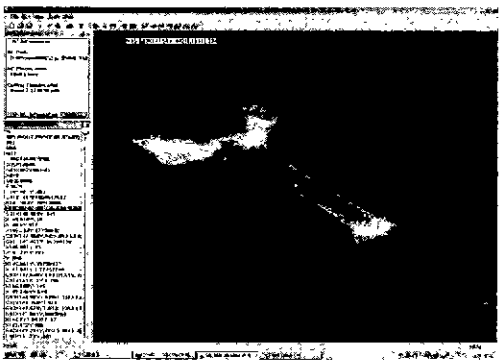


Fig. 4 Optimization cutting speed program

2.2 커넥팅 로드 가공 방법

커넥팅 로드 금형을 UG(Unigraphic)에서 모델링하여 고속가공에 적합한 NC 코드로 산출하였다. NC 코드를 개발된 프로그램에서 역 후처리 과정을 거쳐 절삭 시뮬레이션을 실시하였으며, 임계 절삭속도 일정제어 기법으로 NC 코드를 변환하였다. 개발된 프로그램의 메인 화면에서 임계 절삭속도 일정제어 기법으로 NC 코드를 변환할 때 세 가지 순서가 필요하

다. 먼저 임계 절삭속도의 범위를 지정해 주어야 하는데, 이것은 공작물의 재질에 따라 최적의 범위로 정한다. 가공을 수행한 커넥팅로드 금형은 열처리강(STD61, H_RC 52)으로써 100~300 m/min 로 선정하였다. 두 번째로는 처음 가공할 때의 기준절삭속도인 권장절삭속도를 선정해주어야 한다. 본 실험에서는 100m/min로 선정하였다. 세 번째로는 임계주축회전수의 범위를 지정해 주어야 하는데, 실험에 사용한 공작기계는 최대 20,000rpm 의 수직형 고속가공기로 600~16000rpm으로 선정하였다.

3. 실험방법

커넥팅 로드 금형을 Table 1의 가공조건으로 수직형 고속 가공기에서 기존 가공 방법(GM : General machining)과 절삭속도 최적화 기법으로(OCSM : Optimization cutting speed machining) 가공을 수행하였다. Fig. 5에는 실험 장치도를 나타내었다. 절삭력을 측정하고자 공구 동력계위에 공작물을 설치하였다. 그리고 갭 센서를 공구에 장착하여 공구 처짐량을 측정하였다. 가공 중에 절삭력 신호 파형과 공구 처짐량을 디지털 레코드로 획득하였으며, 가공 후에 커넥팅 로드 금형의 표면형상 및 칩 형태와 공구 마멸을 CCD 카메라로 측정하였다.

Table 1 Cutting condition

Cutting methods	GM	OCSM
Workpiece	STD61(H_RC52)	
Spindle revolution (rpm)	12,000	6,000~12,000
Feed rate (mm/min)	1,500	1,500
Depth of cut (mm)	0.15	0.15
Pick feed (mm)	0.3	0.3
Feed per tooth (mm/tooth)	0.06	Variable
Tool (OSG, Coating)	ϕ6, 2 teeth	

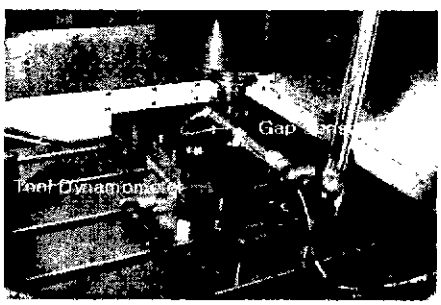
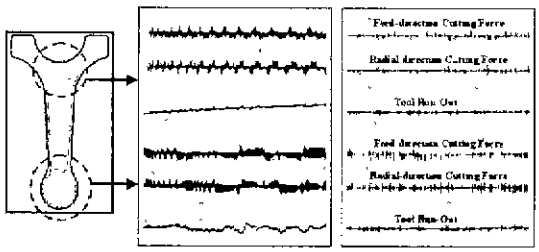


Fig. 5 The experiment set-up

4. 결과 및 고찰

4.1 절삭력과 공구처짐 특성

절삭력은 공구와 공작물의 상대운동에서 발생하는 가공상태를 평가할 수 있는 아주 주요한 인자중의 하나이다. 커넥팅 로드 금형을 기존 가공방법과 절삭속도 일정제어 기법 방식으로 황삭과 정삭 가공을 한 후 절삭력 및 공구 처짐량을 Fig. 6에 나타내었다. 기존 가공방법은 절삭속도가 변화함에 따라 절삭력의 변화폭이 크며, 공구 처짐도 크게 발생한다. 실험결과에서 보듯이 절삭속도 일정제어 기법 방식이 절삭력의 변화폭과 공구 처짐도 작으므로 안정적인 가공상태임을 알 수가 있다.

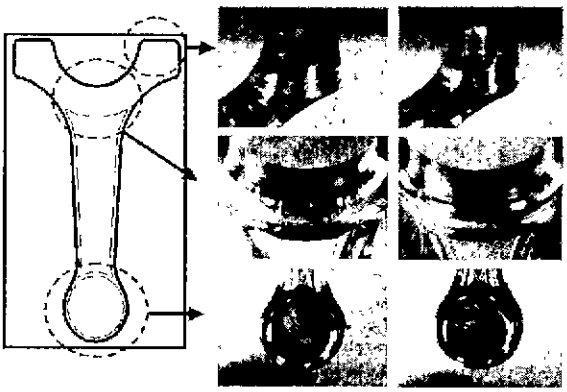


(a) GM (b) OCSM

Fig 6 Tool deflection and tool run-out according to machining methods

4.2 표면형상 특성

커넥팅 로드 금형 가공면의 표면형상을 Fig. 7에 나타내었다. 기존의 가공방식에는 급격한 절삭속도 변화로 가공면에 절삭흔이 나타난다. 하지만, 공작물의 임 계절삭속도 범위 내로 일정하게 하면 절삭흔이 나타나지 않는다. 이 실험결과로 표면형상은 절삭속도에 영향을 많이 받음을 알 수가 있다. 그리고 Fig. 6에서 보듯이 공구 처짐도 작아서 표면상태가 아주 양호함을 알 수가 있다.



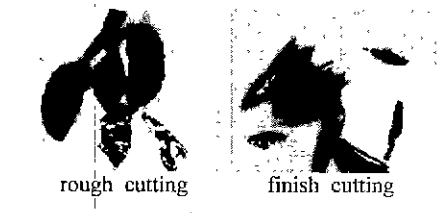
(a) GM (b) OCSM

Fig. 7 Surface form according to machining methods

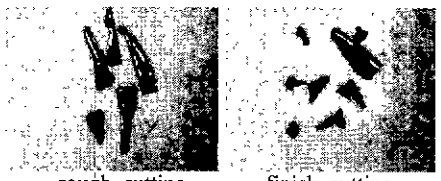
4.3 칩 형태와 공구수명

칩 형태는 절삭메커니즘을 파악하는 아주 중요한 인자이다. Fig. 8에서 보듯이 기존 가공방법에서는 칩이 연속적으로 생성되며 칩 배출이 원활하지 못하다. 그리고 높은 절삭온도에 의해서 칩은 검은색을 띤다. 절삭속도 일정제어 가공방식은 칩 배출이 원활하며 칩 형태도 균일한 모양으로 생성된다. 그리고 칩 색깔도 공작물의 소재와 같은 색깔을 띤다.

Fig. 9에는 공구마멸 그래프를 나타내었다. 절삭속도 일정제어 기법은 황삭 가공에서는 30%, 정삭 가공에서는 45% 정도 공구 수명이 길다. 커넥팅 로드 금형의 윤곽가공인 황삭 가공에서는 공구에 접촉하여 가공부위가 폭이 넓고, 다음 공구경로(피크피드)에도 영향을 받으므로 절삭속도 일정제어 기법의 효율성이 정삭 가공보다는 떨어진다. 그러므로 황삭 가공에서 보다는 정삭 가공에서 보다 더 효율적이다.



(a) GM



(b) OCSM

Fig. 8 Chip form according to machining methods

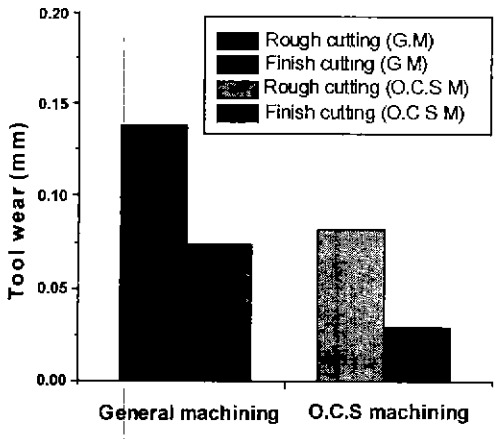


Fig. 9 Tool wear according to cutting methods

5. 결론

고속 볼 엔드밀 가공에서 절삭속도 최적화 기법을 통한 고경도 커넥팅 로드 금형 가공에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공작물의 임계절삭속도 범위이내에서 가공을 하므로 세분력 절삭력과 공구 처짐이 안정적이다.
2. 공작물의 가공면에 절삭흔이 없으며, 양호한 표면형상과 균일한 칩 형태를 얻었다.
3. 공구 수명은 윤곽 가공인 황삭 가공에서는 절삭부위의 폭이 넓으므로 30%, 마무리 형상 가공인 정삭가공에서 45%의 효과를 얻었다.

후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC/NSDM)를 통한 한국과학재단 우수 연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

1. T.Morowaki, "High Speed Machining", CIRP, Vol.41, 1992
2. Aoyama, H, et al, "Study on Development and Cutting Performance of Elliptic Ball End mill", J.of JSPE, vOL.53, No.3, pp.461~466, 1987
3. '98 NC 공작기계 기술세미나', 한국기계연구원, 1998.
4. H. Shut, "High Speed Machining of Dies and Moulds-Cutting Condition and Technology", CIRP, Vol.44, 1995
5. T. Ikeda, "高速・高精度切削をために工作機械と狙加工技術", 形技術セミナー, 1995
6. P. Lee, Y. Altintas, "Prediction of ball-end milling force from orthogonal cutting data", Journal of MTM, Vol. 36, No. 9, pp. 1059~1072,1996
7. H. Y. Feng and C. H. Menq, "A Flexible Ball End Milling System Model for Cutting Force and Machining Error Prediction," Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 118 pp. 461 - 469, 1996.